

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 4 月 2 3 日
Date of Application:

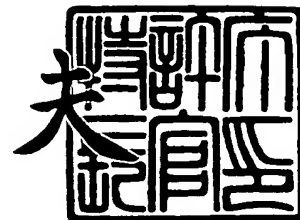
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 1 2 0 4 3 3
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 1 2 0 4 3 3]

出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 1 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 8 5 7 0 5



【書類名】 特許願

【整理番号】 2033840078

【提出日】 平成14年 4月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08
H01L 27/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 杉田 康成

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 小田川 明弘

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 松川 望

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 川島 良男

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 森永 泰規

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 トンネル磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気記録装置、磁気メモリ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、下部電極層、第 1 磁性層、トンネル絶縁層、第 2 磁性層がこの順に形成され、第 1 磁性層と第 2 磁性層の磁化の相対角度により抵抗が異なる磁気抵抗効果素子において、前記第 1 磁性層とトンネル絶縁層との間に、面心立方晶構造または面心正方構造を有し、膜面に対して略平行に (1 1 1) 配向した磁性層からなる界面平滑層を含むことを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】 前記界面平滑層が Fe、Co、Ni を少なくとも一種と、Rh、Pd、Ag、Pt、Au から選ばれる少なくとも一種との磁性合金からなることを特徴とする請求項 1 記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】 前記トンネル絶縁層が Al の酸化物、窒化物、酸窒化物からなることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】 前記第 1 磁性層の下部電極側に反強磁性層が付与され、前記反強磁性層は膜面に対して略平行に (1 1 1) 配向していることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】 磁気記録媒体からの信号磁界を検知するトンネル磁気抵抗効果型ヘッドであって、磁性体を含む 2 つのシールド部と、前記 2 つのシールド部の間のギャップ内に設けられる請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子とを備えたトンネル磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項 6】 磁気記録媒体からの信号磁界を検知するトンネル磁気抵抗効果型ヘッドであって、磁性体を含む磁束ガイド部と、前記磁束ガイド部により導かれた信号磁界を検知する請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子とを備えたトンネル磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項 7】 磁気記録媒体と、前記磁気記録媒体を走査する磁気ヘッドとを備えた磁気記録装置において、請求項 5 または 6 に記載のトンネル磁気抵抗効果型ヘッドを備えたことを特徴とする磁気記録装置。

【請求項 8】 請求項 1～4 のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子と、前記第 1 強磁性層もしくは第 2 強磁性層の少なくとも 1 層の磁化を反転させる為の磁界を発生する情報記録用導体線部（ワード線部）と、前記トンネル磁気抵抗効果素子の抵抗変化を検知するための情報読出用導体線部（センス線部）とを備えたトンネル磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 9】 請求項 8 に記載のトンネル磁気抵抗効果メモリー素子をマトリックス状に配列して構成されるメモリー素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高密度磁気記録再生ヘッド（磁気ディスク、光磁気ディスク、磁気テープ等）や自動車等に用いられる磁気センサー、また、磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）等に用いられるトンネル磁気抵抗効果素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

インターネットの普及により急速な情報化革新の進展と、高度通信網が発展するにしたがい、大量の情報が高速に扱う必要性が高まってきている。中でもハードディスク装置（HDD）は大量の情報を格納し、しかも高速転送が可能な外部記録装置である。HDDの大容量化は巨大磁気抵抗効果（Giant Magnet Resistive effect：GMR効果）を利用した再生ヘッド性能の向上をはじめとする技術革新により、その記録密度は年率60%～100%で伸びている。また、現在は携帯電話やノートパソコンといったモバイル通信機器が日常生活に不可欠のものとなり、モバイル機器を通じて文字情報や動画情報等の様々な情報のやりとりがなされている。このモバイル機器に於いても、大量の情報を瞬時に格納し転送するための、小型軽量・低消費な記録媒体の必要性が高まっており、フラッシュメモリやFeRAM（Ferro electric Random Access Memory）をはじめとして、不揮発性メモリの開発が行われている。中でも近年では、大容量・高速な不揮発性メモリデバイスとして、大きな磁気抵抗変化率を示すトンネル磁気抵抗効果（Tunnel Magnet Resistive effect：TMR効果）を利用した次世代磁気ヘッドや不揮発性ランダムアクセ

スメモリ (MRAM: Magnetic Random Access Memory) への期待が大きい。

【 0 0 0 3 】

TMR効果は数nm程度のトンネル絶縁層を介して積層した2つの強磁性層（自由磁性層、固定磁性層）間に電圧を印加するとトンネル電流が生じ、2つの強磁性層の磁化方向が平行と反平行とで抵抗値が異なる現象である。TMR効果の最初の報告は1975年にJulliere (Physics Letters, vol. 54A (1975). No.3, p225) によるものである。その後、室温でMiyazaki (Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol. 139 (1995) p231.) とMoodera (Physical Review Letters Vol. 74 (1995) p3273.) らのグループによる10%以上の大きな磁気抵抗変化率 (TMR比) の報告された。TMR素子は微小磁界での抵抗変化率は従来から知られている異方性磁気抵抗効果 (AMR効果: Anisotropic Magnetoresistance) や巨大磁気抵抗効果 (GMR効果: Giant Magnetoresistance) も非常に大きな変化率を示ことから、HDD用次世代磁気ヘッドやMRAMへの応用に向けたTMR現象の研究開発が加速している。

【 0 0 0 4 】

これらTMR素子はその構成する層厚が数nmから数十nmといった非常に極薄の積層膜である。特にトンネル絶縁層には主に Al_2O_3 や AlN 、 SiO_2 等の絶縁特性に優れた材料が用いられているが、優れたトンネル磁気抵抗特性を得るにはその膜厚は約2nm以下の極薄のトンネル層が用いられている。TMR素子を磁気ヘッドや磁気メモリデバイス応用へ展開するには、大きなトンネル磁気抵抗変化率（以下TMR比と呼ぶ）比が必要となる。TMR素子を磁気ヘッドに固定磁性層側に反強磁性層を配置して交換結合バイアス磁界を生じさせて、固定磁性層の磁化方向を固定する手法がとられており、この反強磁性層を用いたTMR素子はスピンバルブ型TMR素子と呼ばれる (Journal of Applied Physics, Vol. 81, No. 8, p3741 (1997))。この構成とすることで自由磁性層は比較的、外部磁界に対して自由に磁化方向を変化させることが可能となり、固定磁性層と自由磁性層の磁化方向を相対的に変化させて磁気抵抗を生じることができる。スピンバルブ型TMR素子を磁気ヘッドに用いるには磁気媒体からの信号磁界の変化を自由磁性層の磁化方向を変化させて情報を検知する。MRAMとして用いる場合は、素子の膜上下に自由磁性層の磁

化方向を反転させるためのワード線と、素子の抵抗を読みとるためのセンス線を有する構成とし、TMR素子をマトリックス状に配列する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

TMR素子にはトンネル絶縁層が用いられるので、通常は数 $k\Omega \cdot \mu m^2$ 程度の接合抵抗を示す。しかしながらTMR素子を磁気ヘッドへ応用する場合等には、大きなTMR比のみならず接合抵抗（単位面積あたりの抵抗値）を $10\Omega \cdot \mu m^2$ よりも小さいことが要求される。接合抵抗を小さくするにはトンネル絶縁層の膜厚を薄くすることである程度までは小さくできるが、TMR比も減少してしまうという問題が生ずる。実際のTMR素子ではトンネル絶縁層の界面には数Åから数nmの原子レベルでの凹凸がある。この凹凸のためにトンネル絶縁層に局所的に厚い所と薄いところが生じ、この局所的に薄い箇所からリーク電流が生じる。このリーク電流はトンネル電流には寄与しないため、見かけ上接合抵抗は小さくなるがTMR比が小さくなってしまう。TMR素子のトンネル絶縁層は下部電極上に形成された磁性層上に作成されるが、その磁性層界面は、下部電極からの多くの結晶粒により凹凸が大きい。通常磁性層にはFe、Co、Fe-Co合金、Ni-Fe合金等の磁性材料が用いられるが、それらは熱処理により結晶粒径が大きくなるためにトンネル絶縁層界面での凹凸の増大を生じ、TMR比が減少してしまうという問題もある。また磁性層界面の凹凸によりトンネル絶縁層中の欠陥が増大し、薄いトンネル絶縁層を得ることが困難となることも低抵抗化を妨げる一因として考えられている。従ってこの磁性層とその上に形成されるトンネル絶縁層界面の凹凸の少ない平滑な界面が必要となる。

【0006】

さらにTMR素子を用いた磁気ヘッド（TMRヘッド）はGMRヘッドと比較してMR比が大きいので信号出力は大きいですが、雑音が大きいためにS/N比（信号対雑音比）を比べると、信号出力の増大の割には向上していない。この雑音は主に電子がトンネル絶縁層を不規則に透過して流れるトンネル電流から発生し、ショットノイズと呼ばれる。ショットノイズは抵抗に比例するために接合抵抗の小さなTMR素子が必要となる。

【 0 0 0 7 】

TMR素子はバイアス電圧を印加するに従ってTMR比が急激に減少するという問題がある。TMR素子を用いたMRAMの場合、約400mVのバイアス電圧が印加された状態で使用されるが、この値で通常のTMR素子のTMR比は約半分の値しか得られない。このTMR比のバイアス電圧依存性は、トンネル絶縁層中の格子欠陥、不純物、トンネル絶縁層／磁性層界面の素励起、バンド構造のミスマッチなど様々な観点から議論されている。特にトンネル絶縁層中の格子欠陥は前述の通り、界面の凹凸が一因と考えられている。さらに界面の凹凸によりバンド構造のミスマッチが生じるためにバイアス電圧依存性が大きいと考えられる。

【 0 0 0 8 】

TMR素子を磁気ヘッドやMRAMへの応用を考えた場合、特性の熱安定性が必要である。TMR素子では製造工程において200℃から300℃程度の熱処理行程が必須である。さらに磁気ヘッドの動作環境は主に120～170℃程度に温度は上昇するためにこの温度環境下での特性劣化は大きな問題となる。MRAM作成において、TMR素子は選択トランジスタまたはダイオードなどが埋め込まれたCMOS基板上に形成される。マトリックス状に分散されたメモリ素子と接続する電極配線行程に於いて400℃～450℃の高温熱処理が行われる。TMR素子は300℃から350℃の熱処理を行うとTMR特性が劣化するという問題があり、MRAM作成の為にはCMOSプロセスとの整合性を持たなければならず克服すべき大きな課題である。この熱処理によるTMR特性の劣化はトンネル絶縁層への不純物拡散や界面の凹凸の増大等に起因すると考えられており、特にTMR素子のトンネル絶縁層は数nmの膜厚であるのでその熱処理による劣化は大きい。

【 0 0 0 9 】

本発明は以上の問題点を省みて行われたものであり、接合抵抗が小さくても大きなTMR比を得ることができるTMR素子を、TMR比のバイアス電圧依存性の小さいTMR素子を、高出力で熱的安定性に優れたTMR素子を、これを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置、及びメモリー素子を提供することを目的とする。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係るトンネル磁気抵抗効果素子は、基板上に、下部電極層、第1磁性層、トンネル絶縁層、第2磁性層がこの順に形成され、第1磁性層と第2磁性層の磁化の相対角度により抵抗が異なる磁気抵抗効果素子であって、前記第1磁性層とトンネル絶縁層との間に、面心立方晶構造または面心正方構造を有し、膜面に対して略平行に(111)配向した磁性層からなる界面平滑層を含み、そのことで上記目的が達成される。

【0011】

前記界面平滑層はFe、Co、Niを少なくとも一種と、Rh、Pd、Ag、Pt、Auから選ばれる少なくとも一種との磁性合金からなってもよい。

【0012】

さらに、前記トンネル絶縁層はAlの酸化物、窒化物、酸窒化物からなってもよい。

【0013】

前記第1磁性層の下部電極側に反強磁性層が付与され、前記反強磁性層は膜面に対して略平行に(111)配向していることが望ましい。

【0014】

本発明の磁気ヘッドは、磁気記録媒体からの信号磁界を検知するトンネル磁気抵抗効果型ヘッドであって、磁性体を含む2つのシールド部と、前記2つのシールド部の間のギャップ内に本発明のトンネル磁気抵抗効果素子とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0015】

本発明に係る他の磁気ヘッドは、磁気記録媒体からの信号磁界を検知するトンネル磁気抵抗効果型ヘッドであって、磁性体を含む磁束ガイド部と、前記磁束ガイド部により導かれた信号磁界を検知する本発明のトンネル磁気抵抗効果素子とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0016】

本発明に係る磁気記録装置は、磁気記録媒体と、前記磁気記録媒体を走査する本発明の磁気ヘッドとを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0017】

本発明に係るトンネル磁気抵抗効果メモリー素子は、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子と、前記第1強磁性層もしくは第2強磁性層の少なくとも1層の磁化を反転させる為の磁界を発生する情報記録用導体線部（ワード線部）と、前記トンネル磁気抵抗効果素子の抵抗変化を検知するための情報読出用導体線部（センス線部）とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0018】

またこれらメモリー素子をマトリックス状に配列し、駆動回路を設ければ、熱的安定性に優れたメモリー素子が可能となる。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施例であるトンネル磁気抵抗効果素子（以下TMR素子と呼ぶ）、本発明に係るトンネル磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドの例、磁気記録装置の例、及びメモリー素子の例について、各々、図面を用いて説明する。

【0020】

まず、本発明のTMR素子の一例を図1に示す。

【0021】

基板（図示せず）上に、下部電極層15、第1磁性層11、界面平滑層14、トンネル絶縁層12、第2磁性層13が、この順に積層されており、界面平滑層14は面心立方晶構造もしくは面心正方晶構造を有する磁性層からなり、膜面に略平行に（111）配向していることを特徴とする。

【0022】

界面平滑層14はFe、Co、Niを少なくとも一種と、Rh、Pd、Ag、Pt、Auから選ばれる少なくとも一種との磁性合金材料からなる。これらの合金はそれぞれの元素の組成に応じて、面心立方晶構造、面心正方晶構造、体心立方晶構造、体心正方晶構造となるが、本発明に係る実施例では、少なくとも面心立方晶構造もしくは面心正方晶構造を有する合金を用いる。これらRh、Pd、Ag、Pt、Auを少なくとも一種含む上記磁性合金材料は（111）配向しやすく、しかも平滑な界面を得やすい。上記Rh、Pd、Ag、Pt、Auの原子半径はFe、Co、Niよりも大きく、またこれら元素を添加することで良好な（111）配向した薄膜を得ることができる。

(1 1 1) 面が膜面に対して平行に成長していることは、X線回折における $\theta-2\theta$ による測定法により、(1 1 1) に起因する回折ピークが存在し、その積分強度が他の回折ピーク強度よりも大きいことにより確認することができる。そして、(1 1 1) 回折ピークのロックングカーブ半値幅が10度以下であることが良好な配向性と良好な結晶性を有していると確認することができる。

【0023】

上記Rh、Pd、Ag、Pt、Auは非磁性元素であるためトンネル磁気抵抗効果（主にTMR比）を小さくすることが考えられるが、Fe、Co、Niとの磁性合金を形成することによりTMR比の減少は50at%未満であれば問題ではなく、さらに膜厚の制限は特にない。しかし50at%以上の場合では非磁性元素であるRh、Pd、Ag、Pt、AuによるTMR効果の減少を考慮すると膜厚を2nm以下とすることが望ましい。また界面平滑層14は第1磁性層11と磁氣的に結合している。

【0024】

トンネル絶縁層12にはAlの酸化物または窒化物または酸窒化物が用いられ、これらはAl層を形成後、酸素雰囲気中で酸化することにより形成される。Alは面心立方晶構造を得やすく、本実施例の界面平滑層14上にAl層を形成することで緻密なAl層が形成できる。しかも界面平滑層14により、その表面は原子レベルで平滑である。従ってトンネル絶縁層12は結晶欠陥の少ない膜が形成可能である。さらに、Al層を形成後に酸化（もしくは窒化もしくは酸窒化）プロセスを行う場合、そのAlの下地層には酸素もしくは窒素と反応しにくいRh、Pd、Ag、Pt、Au元素を含む界面平滑層14によりAl元素を選択的に酸化（もしくは窒化もしくは酸窒化）することができるという効果があることと、Fe、Co、Niからなる通常の磁性膜上にAlを成膜するよりも表面エネルギー的に安定であるため緻密なAl層、Alのトンネル絶縁層を形成することが可能となる。これはAl元素に限ったことではなく、他のトンネル絶縁層を構成する非磁性元素（例えばMg、B、Si、Ta）にも適用可能であるが、その中でもAlがより好ましいということである。

【0025】

図2を用いて本発明の一実施例であるTMR素子において、界面平滑層14を用いたことによって奏される作用効果について説明する。

【0026】

図2(a)は、従来のTMR素子を示す図であって、凹凸を有する第1磁性層11上に形成されたトンネル絶縁層12を示す模式図である。図2(b)は本発明の一実施例であるTMR素子の、界面平滑層14上に形成されたトンネル絶縁層12を示す模式図である。第1磁性層11が図2(a)に示すような凹凸(膜面方向の周期を d 、膜面方向の凹凸を h とする)を有する場合、その上に形成されるトンネル絶縁層12は同様な凹凸形状を有する構造となる。第1磁性層11の図2(a)に示すような凹凸は、基板からの凹凸や下部電極層15を構成する電極材料の結晶粒に起因する凹凸から生じる。従って、従来のTMR素子では、図2(a)に示したような、凹凸が大きく、しかも結晶粒界における局所的なステップをもつ第1磁性層11上にアルミナ等のトンネル絶縁層12が形成されるため、均質なトンネル絶縁層12を形成することが困難となる。しかも図2(a)には明示していないが、Fe、Co、Niからなる通常の第1磁性層11の表面はさらに原子ステップに起因する凹凸を有しているために、さらにその上に形成されるトンネル絶縁層には微小な凹凸がある。

【0027】

しかし、図2(b)に示すように、界面平滑層14を、凹凸の有する第1磁性層11上に積層することにより、界面平滑層14の表面は原子レベルで非常に平滑な表面を構成することができる。従って、平滑な表面を持つ界面平滑層14上に形成されるトンネル絶縁層12と界面との平滑性も向上することに加えて、緻密で均質なトンネル絶縁層を得ることが可能となる。しかもトンネル絶縁層12とその上に積層される第2磁性層13(図2では図示せず)との界面の平滑性も向上する。本実施例の界面平滑層上に形成されたトンネル絶縁層は、緻密で均質であることに加えて、界面が平滑であることから、トンネル絶縁層の薄膜化が可能となるため、低抵抗でかつ高TMR比を示す素子を実現できる。しかもトンネル絶縁層11の欠陥が少ないことから、バイアス電圧依存性も従来のTMR素子よりも緩和されて高出力化が可能となる。さらに界面平滑層に用いられる磁性合金には酸素、窒素と反応しにくいRh、Pd、Ag、Pt、Au元素を含んでいるので熱的に安定でありTMR特性の熱的安定性に優れたTMR素子を提供することが可能である。さ

らに界面平滑層 14 は細密面である (111) 面が膜面に平行であるため熱的な原子拡散を抑制し、トンネル絶縁層 12 に対する不純物の混入を抑制するために TMR 特性の熱劣化を抑制することができる。

【0028】

本発明に係る TMR 素子の別の実施例を図 3 に示す。

【0029】

図 3 では、図 1 の TMR 素子において、第 1 磁性層 11 の下部電極層 15 側に反強磁性層 16 が配された構造となっている。反強磁性層 16 には A-Mn 系金属反強磁性材料 (A は Pt、Pd、Ir、Fe、Ru、Rh から選ばれる少なくとも 1 種) を用いるのが望ましい。これらの反強磁性層は、A の元素および組成に対して面心立方晶構造もしくは面心正方晶構造を持ち膜面に対して略平行に (111) 配向する。例えば Fe-Mn、Rh-Mn、Ir-Mn、Pt-Mn、Pt-Pd-Mn、Ni-Mn 等の反強磁性材料を用いるとよい。そのため、下部電極層 15 の結晶粒界により生じる凹凸を緩和して平滑性を向上する効果が、これら反強磁性層 16 にある。さらに反強磁性層 16 は隣接する第 1 磁性層 11 と交換結合磁界を生じさせて、その磁化方向を所望の方向に固定する機能があり、しかも耐熱性にも優れている。また反強磁性層 16 は Ni-Fe や Pt などの面心立方晶構造を有する下地層上に A-Mn 反強磁性層を積層させると、少なくとも面心立方晶構造を有する A-Mn 反強磁性層を形成することができる。さらに PtMn や Pd-PdMn、Ni-Mn 等は 250℃ 以上の熱処理を行うと面心正方晶構造となり、隣接する第 1 磁性層 11 との交換結合磁界を向上させることもできる。なお、上記反強磁性層 16 を図 1 の第 2 磁性層 13 のトンネル絶縁層 12 との反対側の界面に配置して第 2 磁性層 13 の磁化方向を所望の方向に固定してももちろんよい。

【0030】

本実施例の TMR 素子において、第 1 磁性層 11 や第 2 磁性層 13 には強磁性を示す種々の磁性材料を用いることが可能である。また、第 1 磁性層 11 もしくは第 2 磁性層 13 の一方を、非磁性層を介して 2 つの磁性層が積層した構造体を含み、前記非磁性層に隣接する磁性層の磁化が反平行に向いていることが安定である状態とすることで、素子の膜端部から生ずる漏洩磁界を低減することが可能と

なる。特に非磁性層にRu、Cr、Cu等を用い、ある適当な膜厚において隣接する磁性層に反強磁性的交換結合が生じた積層体を、図3に示した反強磁性層16と接している第1磁性層11に適用することにより、外部磁界に対して磁化方向を変化するのが困難な固定磁性層を形成することが可能となる。

【0031】

トンネル絶縁層12の作成方法として、例えばAl酸化物を作成する方法を、一例として説明する。Alターゲットをスパッタ法やモレキュラービームエピタキシー法(MBE法)やイオンビーム蒸着法(IBD法)等の物理的手法(PVD:Physical Vapor Deposition)によりAl金属層を形成した後に、自然酸化法やプラズマ酸化法やラジカル酸化法やオゾン酸化法によりAl金属層を酸化してAl酸化層を形成することができる。ここで自然酸化法とは、真空中もしくは大気中で酸化する方法であり、特に真空中での酸化は純酸素もしくは純酸素と他の元素との混合ガスを導入して酸化する。ラジカル酸化法とはRFコイルやECRプラズマ等により導入された酸素ガスが不対電子をもつ状態になった酸素ラジカルになり、その酸素ラジカルの中性成分だけを利用して酸化する方法である。プラズマ酸化法は上記のラジカル酸化法とはほぼ同様に導入ガスをプラズマ状態にすることで、酸化力の強い酸素ラジカルやオゾンなどを用いて酸化する方法である。上記手法によるAl層の酸化条件は酸素分圧、温度、時間、RFコイル投入電力等様々であるが、適切な条件を選択することにより、本実施例の界面平滑層上に作成されたAl層は緻密で均質なAl酸化膜を得ることができる。以上はAlの酸化層の作成法を示しているが、酸化元素である酸素を窒素もしくは「酸素+窒素」に置き換えることでAl窒化物、Al酸窒化物を得ることができる。

【0032】

下部電極層から主に生ずる結晶粒による凹凸を抑制するために、単結晶基板を用いてエピタキシャル成長させた下部電極層を用いた場合や、凹凸を有する下部電極層表面をCMP(ケミカルメカニカルポリッシング)等で平坦化がなされた場合に於いても、本実施例のTMR素子は有効である。つまり界面平滑層14により下部電極層上に形成された第1磁性層11に生ずる原子レベルでの凹凸を平滑にする効果があることは上述した通りである。

【0033】

図1、図3には、本発明の一実施例であるTMR素子の膜構造のみを示しているが、トンネル絶縁層の膜面に概略垂直方向に電流を流す構造とするには、半導体プロセスや、GMRヘッド作製プロセス等で用いられるイオンミリング、RIE（リアクティブイオンエッチング）、FIB（フォーカストイオンビーム）等の物理的あるいは化学的エッチング法や、微細パターン形成のためにステッパー、EB（エレクトロンビーム）法等を用いたフォトリソグラフィ技術を組み合わせて微細加工することで、図4のような素子を作成することが可能である。上部電極と下部電極に挟まれたTMR素子部505に電流を流して電圧変化を検知する。層間絶縁層501は上部電極502と下部電極503との短絡を防ぐ働きがある。また電極等の表面平坦化のために、CMP（ケミカルメカニカルポリッシング）やクラスターイオンビームエッチングやECRエッチングを用いることも効果的である。上部電極501と下部電極502にはPt、Au、Cu、Ru、Alなどの低抵抗金属を用いればよい。層間絶縁層501としては、 Al_2O_3 、 SiO_2 等の絶縁特性のすぐれているものを用いればよい。

【0034】

本発明の一実施例であるTMR素子部505の膜形成には、パルスレーザデポジション(PLD)、イオンビームデポジション（IBD）、クラスターイオンビームまたはRF、DC、ECR、ヘリコン、ICPまたは対向ターゲットなどのスパッタリング法、MBE法等のPVD法で作成することが可能である。

【0035】

図5に、本発明の一実施例であるTMR素子を用いた磁気ヘッドの構成の一例を示す。図5では磁性体からなる2つのシールド（上部シールド203と下部シールド202）を有し、2つのシールド部の再生ギャップ204内にTMR素子部201を設けるように構成されている。記録は巻線部205に電流を流して記録用磁極206と上部シールド203の間の記録ギャップ207からの漏洩磁界により信号を記録媒体（図示せず）に書き込み、再生は磁気記録媒体（図示せず）からの信号磁界を再生ギャップ204（シールドギャップ）間に設けられたTMR素子部201で検知する。TMR素子部201を構成する2つの磁性層（第1磁性層

と第2磁性層)のうち、外部磁界に対して自由に磁化回転する磁性層(以下自由磁性層と呼ぶ)の磁化方向が変化し、外部磁界に対して磁化回転することが困難な磁性層(以下固定磁性層と呼ぶ)の磁化方向は信号磁界に対して変化しないので、TMR効果が生じる。自由磁性層は紙面に対して概略垂直方向に磁化が向いており、固定磁性層の磁化は紙面内で自由磁性層の磁化方向と概略直交している。図5には明示していないが、TMR素子部201には電極部が膜の上下に接続され、上下の電極部と上下のシールド部とは絶縁層により電氣的に絶縁してもよいし、上下の電極部を上下シールドと接続して、上下のシールドも電極部をかねる構造としてもよい。上部および下部のシールド203、202にはNi-Fe、Fe-Al-Si、Co-Nb-Zr合金などの透磁率の高い軟磁性膜が使われる。TMR素子部201の自由磁性層の磁区制御のためにCo-Pt、Co-Pt-Cr合金等の高保磁力磁性膜を紙面垂直方向にTMR素子を両側から挟んだ配置にすることでバイアス磁界を加えることも可能である。また絶縁部208としては、 Al_2O_3 、AlN、 SiO_2 等の絶縁膜が使われる。

【0036】

図6は検知すべき外部磁界を透磁率の高い磁性膜で構成されるヨークにより本発明の一実施例であるTMR素子部301に導くことにより感度を向上させることを説明するための図である。図5では、図1、3に示した本発明の一実施例であるTMR素子(第1磁性層11、界面平滑層14、トンネル絶縁層12、第2磁性層13)を例に示している。基本的にヨーク部60は磁界Hが磁化回転の容易な自由磁性層に導入されるように配置される。従って、図6の配置では第2磁性層13が自由磁性層として機能している。第1磁性層11と界面平滑層14が自由磁性層として機能する場合は、図5においてヨーク部は第1磁性層11の下側に配置した構造とすればよい。図6ではヨークから導入された磁界Hにより、第2磁性層13の磁化が変化することでTMR効果が生じる。なお、ヨーク部が自由磁性層の一部となる構成であっても良い。

【0037】

図7(a)は、本発明の一実施例であるTMR素子を用いた磁気ヘッドの一例を示す斜視図であり、Aの平面で示した断面図が図7(b)である。図7(a)(

b) に示すように、磁性体よりなる磁束ガイド（ヨーク）部を有し、この磁束ガイド部により、導かれた信号磁界を検知する素子として本発明に係る一実施例であるTMR素子部301を用いることで、より高感度・高出力で熱的安定性に優れた再生ヘッド部を有するヨーク型磁気ヘッドが可能となる。記録媒体（図示せず）からの信号磁界は上部ヨーク部303により導かれ上部ヨーク部303に接続されたTMR素子301により読み取りを行うものである。図7ではTMR素子部301は上部電極部306と下部電極部305と電氣的に接続されており、絶縁層部307により上部ヨーク部303と下部ヨーク部302とは絶縁された構造となっているが、必ずしも絶縁層部307は必要ではなく、上部ヨーク部303と下部ヨーク部302はそれぞれ上部電極部306と下部電極部305を兼用した構造としてもよい。図7の場合では、自由磁性層として働く磁性層は上部ヨーク部303側に配置すればよく、図1と図2で示したTMR素子1と2の場合は第2強磁性層13が上部ヨーク側、第1磁性層11が下部ヨーク側に配置した構造となる。図7に示した本発明の磁気ヘッド（ヨーク型磁気ヘッド）は図5に示した本発明の一実施例である磁気ヘッド（シールド型磁気ヘッド）と比較して、磁気記録媒体から発生する信号磁界を検知するTMR素子部が記録媒体よりも距離的に遠いために出力的にはやや劣るが、記録媒体と磁気ヘッドが接触することで生ずるTMR素子部の破壊や熱衝撃に対して優れており、本発明の実施例であるTMR素子を用いたヨーク型磁気ヘッドは磁気記録媒体がテープであるストリーマー用途として特に優れている。加えて、図7に示した本発明の一実施例である磁気ヘッドの再生ギャップ304の長さはTMR素子膜の膜厚に依存しないため、図5に示した磁気ヘッドの再生ギャップ204の長さよりも小さくすることが可能であるため、高密度磁気記録へ対応が可能な構造となっている。

【0038】

以下、本発明に係る磁気記録再生装置の一形態について図8および図9を参照しつつ説明する。図5、図7に示した本発明の一実施例である磁気ヘッドを用いて図8および図9に示す高密度磁気記録装置を構成することができる。図5または図7に示した本発明の一実施例である磁気ヘッド401、その駆動部402、情報を記録する磁気記録媒体403、及び信号処理部404を用いて高出力で熱

的安定性に優れた磁気記録装置 400 を構成することが可能となる。また、図 9 には、本発明の一実施例である磁気ヘッドを用いた別の磁気記録再生装置の構成を示す。図 9 (a) は磁気記録再生装置の回転ドラム装置の斜視図であり、図 9 (b) は磁気記録再生装置の走行系概略図である。図 9 (a) の回転ドラム装置 103 は、下ドラム 106 および上回転ドラム 102 を有し、その外周面に磁気ヘッド 105 が備えられている。図示しない磁気テープは、リード 104 に沿って上回転ドラム 102 の回転軸に対して傾斜して走行している。磁気ヘッド 105 は、磁気テープの走行方向に対して傾斜して摺動する。また、上回転ドラム 102 と磁気テープとが密着しながら安定して摺動走行するように、上回転ドラム 102 の外周面には複数の溝 101 が設けられている。磁気テープと上回転ドラムとの間に巻き込まれた空気はこの溝 101 から排出される。磁気記録再生装置の走行系は、図 9 に示すように、回転ドラム装置 113、供給リール 107、巻き取りリール 122、回転ポスト 108, 110, 111, 116, 117, 119、傾斜ポスト 112, 115、キャプスタン 118、ピンチローラー 120、テンションアーム 109 を備えている。回転ドラム装置 113 の外周面には、上記で説明した本発明の一実施例である磁気ヘッド 105 が配置されている。供給リール 107 に巻かれた磁気テープ 121 は、ピンチローラー 120 とキャプスタン 118 による引き込み動作で走行し、傾斜ポスト 112, 115 による案内で回転ドラム装置 813 に搭載された磁気ヘッド 114, 123 に押しつけられ、ピンチローラー 120 とキャプスタン 118 との間を通過して巻き取りリール 122 に巻き取られていく。この回転ドラム装置は、上回転ドラム方式であって再生用磁気ヘッド 114 は回転ドラム外周面から 20 μ m 程度突き出すように 2 個取り付けられている。本発明の一実施例である磁気ヘッドを用いた磁気記録再生装置において、図 7 のようなヨーク型磁気ヘッドを使用すれば、ヘリカルスキャン方式で問題となる摩耗による TMR 素子の形状変化が起こらない。また、接触摺動による TMR 素子の静電破壊、および磁気テープや大気中からの化学反応物質による TMR 素子の腐食などのおそれが極めて少ないために、高い信頼性を確保できる。また、従来の磁気ヘッドより優れた性能をもつ本発明のトンネル磁気抵抗効果膜を利用した磁気ヘッドを搭載しているために熱的安定性に優れた高い記録密

度を達成することができる。

【0039】

本発明の一実施例であるTMR素子を用いて、図10に示す高出力で熱的安定性に優れ、低消費電力の磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）が可能となる。素子は例えば図10に示されたA1に代表されるように、CuやAlをベースに作られたTMR素子の抵抗変化を検知する情報読出用導体線部（センス線部）601とTMR素子に磁界を発生させるための情報記録用導体線部（ワード線）602の交点にマトリクス様に配置され、それぞれのラインに信号電流を流した時に発生する合成磁界を用いた2電流一致方式により信号情報が記録される。

【0040】

図11～図13における磁気メモリデバイスの電流による書き込み動作と、読み込み動作の基本例について、図11を参照して説明する。尚、それぞれの図ではTMR素子部710の例として図1に示したTMR素子1の第1磁性層11／界面平滑層14／トンネル絶縁層12／第2磁性層13を抽出してメモリ素子として示している。TMR素子部710を構成する2つの磁性層のうち、一方は外部磁界により磁化反転しやすく、他方は磁化反転し難いものを用いる。なお、図中の第2磁性層13を磁化反転しやすいメモリ層として説明する。TMR素子部710は長方形であると仮定し、センス線兼ワード線部701に流す電流が発生する磁界がTMR素子の長手方向であるとする。この場合、第2強磁性層13（自由磁性層）の磁化容易軸は長手方向である。情報の記録はワード線部702とセンス線兼ワード線部701に電流を流し、それぞれから発生する磁界の合成された磁界で第2強磁性層13の磁化を反転して記録を行う。情報の読み出しはセンス線兼ワード線部701とワード線部702に逆向きの電流を流し、このときセンス線兼ワード線部701とセンス線部700を通じて電氣的に接続されたTMR素子部710に抵抗変化が生じるか否かで情報の読み出しを行う。情報の記録の際にセンス線兼ワード線部701から発生する磁界は距離の2乗に反比例して減少するため、メモリ層として働く第2磁性層13とセンス線兼ワード線部701との距離はできるだけ近い方が、消費電力を抑えることができるので望ましい。本発明の実施例であるTMR素子を図11～13に示すようなMRAMに用いることにより、TMR比

のバイアス電圧依存性が小さいので高出力化が可能である。

【0041】

図11では、素子の磁化状態を個別に読み取るために、素子毎にFETに代表されるスイッチ素子703を設けた構成を示している。このランダムアクセスメモリは、CMOS基板上に容易に構成できる。また図12では、素子毎に非線形素子704（あるいは整流素子）を用いた構成を示している。ここで、非線形素子704は、バリスタや、トンネル素子を用いても良い。このランダムアクセスメモリは、ダイオードの成膜プロセスなどを増やすだけで、安価なガラス基板上にも作製可能である。また図13では、図11や図13のような素子分離のためのスイッチ素子703、あるいは非線形素子704などを用いず、直接ワード線702とセンス線部701の交点に素子が配置される構成としている。図11～図13では、それぞれ、センス線兼ワード線部701は素子に電流を流して抵抗変化を読み取る情報読出用導体線部と情報記録用導体線部とを併用する場合について示しているが、センス線部701に流した電流による誤動作や素子破壊を防ぐため、センス線部701とは別にワード線を別途設けてもよい。このとき別途設けられたワード線は、素子と電氣的に絶縁された位置で且つ、センス線部701と平行に配置することが好ましい。

【0042】

（実施例1）

以下に、本発明の実施例をさらに具体的に示す。

【0043】

本発明の実施の一形態として、図1に示したTMR素子について説明する。到達真空度が 1×10^{-8} Torr以下の成膜チャンバー中において500nmの熱酸化膜付きSi基板上にDCおよびRFマグネトロンスパッタ法によりTMR膜を作製した。まず基板上に下部電極としてTa(3nm)/Pt(100nm)/Ta(3nm)を積層した。その上に第1磁性層として $\text{Ni}_{0.8}\text{-Fe}_{0.2}$ (3nm)を、界面平滑層14に表1に示す磁性材料と膜厚の層を積層した。その上にトンネル絶縁層12のAl-O(0.5nm)を作成した。Al-Oトンネル絶縁層の括弧内の膜厚は酸化処理前のAlの設計膜厚を示す。Alの自然酸化法の条件は200Torr(1Torr=133.322Pa)の酸素含有雰囲気中で室温で1分間保持した。

その上に第2磁性層13の $\text{Co}_{0.75}\text{-Fe}_{0.25}$ (3nm)を積層した。第2磁性層13上に反強磁性層 $\text{Ir}_{0.8}\text{-Mn}_{0.2}$ (10nm)を積層して第2磁性層13と交換結合磁界を生じて、固定磁性層とした。これら試料の膜上には保護層兼上部電極の一部としてTa(15nm)/Pt(10nm)を形成した後に、フォトリソグラフィとイオンミリングを用いて図4に示すようなTMR素子とした。層間絶縁層には Al_2O_3 をスパッタすることで形成し、上部電極にはTa(3nm)/Cu(500nm)/Pt(10nm)を用いた。TMR素子部のセル形状は $2\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ である。このように作成したTMR素子を 250°C で5kOeの磁界を印加して3時間磁界中熱処理を実施した。熱処理後、室温で1kOeの磁界を印加して磁気抵抗を測定して、その磁気抵抗変化率（以下TMR比と呼ぶ）を調べた。表1に各試料に対するTMR比（%）と接合抵抗値（ $\Omega\mu\text{m}^2$ ）を示す。

【0044】

【表1】

試料	界面平滑層14	TMR比(%) 接合抵抗値（ $\Omega\mu\text{m}^2$ ）
従来例試料A	なし	12% $6\Omega\mu\text{m}^2$
実施例試料1-1	$\text{Fe}_{0.6}\text{Pd}_{0.4}$ (3nm)	23% $7\Omega\mu\text{m}^2$
実施例試料1-2	$\text{Fe}_{0.2}\text{Ni}_{0.7}\text{Au}_{0.1}$ (2nm)	25% $6\Omega\mu\text{m}^2$
実施例試料1-3	$\text{Fe}_{0.35}\text{Co}_{0.35}\text{Pt}_{0.3}$ (1.5nm)	30% $4\Omega\mu\text{m}^2$

【0045】

界面平滑層のない従来例試料Aでは接合抵抗は小さいものが得られたがTMR比は5%と小さい値しか得られなかった。ちなみにAl-Oトンネル絶縁層の膜厚を1nmとした場合には従来例試料AのTMR比は31%と大きな値を示していたが、トンネル絶縁層の膜厚が薄くなることでTMR比は減少している。それに対して、本発明の実施例試料1-1、1-2、1-3では接合抵抗値は全て 10Ω 以下と低抵抗であると同時にTMR比は20%以上の高い値を得た。表1の実施例試料（1-1、1-2、1-3）の結果は素子面積が $2 \times 4\mu\text{m}^2$ のみを示しているが、特に素子面積依存はなく、例えば $0.1 \times 0.1\mu\text{m}^2$ の素子でも同様のTMR比と接合抵抗値を得ることが

できた。

【0046】

上記各試料の断面構造を透過型電子顕微鏡で調べた。各試料の下部電極層Ta(3nm)/Cu(50nm)/Ta(3nm)であるTa/Cu/Ta界面の形状は図2に示したように、Ptの粒成長に起因する結晶粒界が見られた。その形状は図2に示したdとhで表すと、 $d=20\text{nm}$ 、 $h=2\text{nm}$ であった。従来例試料AのTMR素子部の各界面もこの下部電極のラフネス形状を有していた。それに対して、実施例試料1-1から1-3の全において、第1磁性層11 (NiFe) と界面平滑層14との界面は下部電極と同じラフネス形状を有していたが、界面平滑層14とトンネル絶縁層12との界面は図2(b)に示したような平坦な界面となっていた。さらにその上に積層された層の界面も平坦であり、本発明の界面平滑層を用いることでトンネル絶縁層界面の平滑性が向上していることが分かった。さらに、本実施例試料1-1から1-3のAl-Oトンネル絶縁層を形成した段階で、界面平滑層の結晶構造をX線回折により解析した。その結果、界面平滑層の結晶構造は、(111)面配向を示しており、実施例試料1-1と1-2は面心立方晶構造であり、実施例試料1-3は面心正方晶構造であった。さらに実施例試料1-1から1-3の界面平滑層は(111)のロッキングカーブ半値幅が10度以下であった。

【0047】

(実施例2)

本発明の実施の一形態として、図1に示したTMR素子を実施例1とほぼ同様の手法で作成した。基板にはSi(111)単結晶基板を用いた。その単結晶基板上に下部電極層15としてAg(5nm)/Cu(100nm)を積層した。下部電極層15はSi(111)単結晶基板上ではエピタキシャル成長していたこの下部電極上に以下に示すようなTMR素子の膜構成を作成した。

【0048】

Ni_{0.8}-Fe_{0.2}(4nm)/界面平滑層X/ Al-O(2nm)/ Co_{0.5}-Fe_{0.5}(3nm)/ Co_{0.5}-Pt_{0.5}(10nm)

Co-Pt層は高保磁力材料であり、隣接するCo-Fe層の磁化反転磁界をNi-Fe/界面平滑層の積層体よりも大きくするための層である。トンネル絶縁層12のAl-Oは

Al層を2nm成膜した後に、プラズマ酸化により形成した。プラズマ酸化の条件は、酸素ガス圧が75%に流量調整されたのAr+O₂混合ガス（0.8mTorr）中で、ワントーンコイルに150WのRF電力を投入することで酸素プラズマを生成し、酸化時間180秒で行った。上記TMR膜上に保護層兼上部電極の一部としてTa(15nm)/Pt(10nm)を形成した後に、フォトリソグラフィーとイオンミリングを用いて図4に示すようなTMR素子とした。層間絶縁層にはAl₂O₃をスパッタすることで形成し、更に上部電極にはTa(3nm)/Cu(500nm)/Pt(10nm)を用いた。TMR素子部のセル形状は1 μ m \times 3 μ mである。このように作成したTMR素子を200℃で5kOeの磁界を印加して10時間磁界中熱処理を実施した。熱処理後、室温で最大1kOeの磁界を印加して磁気抵抗を測定して、その磁気抵抗変化率（以下TMR比と呼ぶ）の印加バイアス電圧依存を調べた。バイアス電圧を印加してTMR比が半分になる電圧（以下V_hと呼ぶ）を求めた。表2に結果を示す。本実施例試料2-1から2-3の試料をX線回折により実施例1で示したのと同様な解析を行うことにより（1 1 1）配向した界面平滑層Xができていることを確認した。また、表2にはAl-Oトンネル絶縁層を形成する前に、界面平滑層X（従来例試料BではNi-Fe層表面）表面を、大気暴露せずに真空中で原子間力顕微鏡を用いてその表面形状（Raという）を調べた結果も記した。

【0 0 4 9】

【表2】

試料	界面平滑層 X	V _h (mV)	Ra(Å)
従来例試料B-1	なし	550	15
実施例試料2-1	Fe _{0.65} Ni _{0.15} Pt _{0.2} (2nm)	940	4
実施例試料2-2	Fe _{0.2} Ni _{0.7} Au _{0.1} (5nm)	850	6
実施例試料2-3	Fe _{0.05} Co _{0.55} Ag _{0.4} (1.5nm)	790	5

【0 0 5 0】

表2から本発明の界面平滑層Xを用いたTMR素子のV_hは従来例試料Bよりも大きくなっておりバイアス電圧依存性が緩和されていることが分かった。原子間力顕微鏡による界面平滑層Xの表面観察により、界面の平滑性は界面平滑層Xにより向上していることが分かった。

【0051】

(実施例3)

本発明の実施の一形態として、図3に示したTMR素子を実施例1とほぼ同様の手法で作成した。基板には500nmの熱酸化膜付きSi基板を用いた。基板上に下部電極層15のTa(3nm)/Cu(100nm)/Ta(3nm)を積層した。反強磁性層14の下地層としてNi-Fe-Cr(4nm)上に下記に示すTMR膜を作成した。この下部電極層上に以下に示すような膜構成のTMR素子を作成した。

【0052】

実施例試料3-1: $\text{Pt}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}(15\text{nm})/\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.25}(4\text{nm})/\text{Fe}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}(2\text{nm})/\text{Al-O}(0.7\text{nm})/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(4\text{nm})$

実施例試料3-2: $\text{Ir}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}(10\text{nm})/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(4\text{nm})/\text{Fe}_{0.6}\text{Pd}_{0.4}(2\text{nm})/\text{Al-N}(1.4\text{nm})/\text{Ni}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}(5\text{nm})$

実施例試料3-3: $\text{Pt}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}(20\text{nm})/\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.25}(3\text{nm})/\text{Ru}(0.8\text{nm})/\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.25}(1\text{nm})/\text{Fe}_{0.6}\text{Ni}_{0.15}\text{Pt}_{0.25}(2\text{nm})/\text{Al-O}(1.0\text{nm})/\text{Fe}_{0.6}\text{Ni}_{0.15}\text{Pt}_{0.25}(2\text{nm})/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})$

実施例試料3-1のAl-Oトンネル絶縁層はAl層を0.7nm成膜後、200Torrの純酸素中で1分間自然酸化することで作成した。実施例試料3-2のAl-Nトンネル絶縁層はAl層を1.4nm成膜後、80%の窒素ガス圧に流量調整されたAr+N₂混合ガス(0.8mTorr)中でワンターンコイルに200WのRF電力を投入してプラズマ窒化を40秒行うことで作成した。実施例試料3-3のAl-Oトンネル絶縁層は、Al層を成膜後自然酸化法により形成した。ここで膜厚はAl層の膜厚を示し、実際にはAl-O(0.4nm)/Al-O(0.3nm)/Al-O(0.3nm)のようにAlを多段酸化することで形成している。さらに実施例試料3-3のRu(0.8nm)は隣接する2つのCoFe層に反強磁性的な交換結合を生じさせる非磁性層であり、このCoFe層の磁化方向はお互いに反対方向を向いていることが安定であるために用いられた積層体である。なお、実施例試料3-1から3-3の反強磁性層の下地層として面心立方晶構造のNi-Fe-Cr(4nm)を形成した。

【0053】

比較例として以下の膜構成の従来例試料Cを作成した。

【0054】

従来例試料C: $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(6\text{nm})/\text{Al-O}(1.2\text{nm})/\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(3\text{nm})/\text{Ir}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}(12\text{nm})$

Al-O(1.2nm)トンネル絶縁層はAl層を1.2nm成膜後、プラズマ酸化を行うことで作成した。プラズマ酸化の条件は、酸素ガス圧が75%に流量調整されたのAr+O₂混合ガス(0.8mTorr)中で、ワンターンコイルに150WのRF電力を投入することで酸素プラズマを生成し、酸化時間30秒で行った。

【0055】

上記TMR膜上に保護層兼上部電極の一部としてTa(15nm)/Pt(10nm)を形成した。

【0056】

なお、上記TMR素子膜を成膜する過程において表面の凹凸を調べるために原子間力顕微鏡で評価した。実際には下部電極層、反強磁性層、界面平滑層を成膜した後に原子間力顕微鏡で表面の凹凸を観察して調べた。下部電極層を成膜後に観察した凹凸は図2に示したように、Cuの結晶粒に起因する凹凸を観測し、図2の記号を用いるとdとhの大きさはそれぞれ約55nm、6nmであった。このdの大きさはX線回折により得られたCu下部電極層からのメインの回折ピークの半値幅をScherrerの式を用いて解析した結果と同程度であった。表3には反強磁性層、界面平滑層を成膜した後に調べたhの値の結果を示す。従来例試料Cでは第1磁性層(Ni-Fe)を成膜した後に評価したhの値を界面平滑層の欄に示した。

【0057】

【表3】

	反強磁性層	界面平滑層
実施例試料3-1	1.5	0.5
実施例試料3-2	1.7	0.6
実施例試料3-3	1.4	0.6
従来例試料C	***	5

【0058】

本実施例試料においては反強磁性層、界面平滑層を作成することで表面の凹凸を示すhの大きさが小さくなり平滑性が従来例試料Cよりも格段に向上している

ことが分かった。また、本実施例の反強磁性層および界面平滑層はX線回折により面心立方晶構造、面心正方晶構造の(111)面が膜面内に良好に配向していることを確認した。

【0059】

次にフォトリソグラフィー及びイオンミリングを用いて図4に示したようなメサ型のTMR素子を作成した。上部電極にはCu(500nm)/Pt(100nm)をさらに形成した。TMR素子部のサイズは $0.1\mu\text{m} \times 0.2\mu\text{m}$ とした。上記4試料を280℃で素子の長手方向に5kOeの磁界を印加して熱処理を8時間実施した。この280℃の熱処理後、素子の耐熱性を調べるために450℃まで熱処理を行い、各熱処理温度後に室温で磁気抵抗を測定して、磁気抵抗変化率(TMR比)を求めた。表4に結果を示す。

【0060】

【表4】

	280℃	300℃	350℃	370℃	400℃	450℃
実施例試料3-1	35%	38%	35%	34%	33%	32%
実施例試料3-2	26%	25%	24%	22%	24%	22%
実施例試料3-3	45%	46%	45%	44%	44%	42%
従来例試料C	28%	30%	16%	5%	2%	0%

【0061】

表4の結果から本発明のTMR素子は従来のTMR素子と比較して熱的安定性に優れていることが分かった。

【0062】

(実施例4)

実施例1で用いた実施例試料1-3と従来例試料Aと同じ膜構成のTMR素子を用いて、図5に示したシールド型ヘッドを作成して、特性を評価した。基板には Al_2O_3 -TiC基板を用い、上部記録用磁極206、上部シールド203、下部シールド202には $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金をメッキで作製した。TMR素子部201上下には下部電極層、上部電極層としてTa/Cu/Taを配置し、上部シールド203と下部シールド202の一部はそれぞれ上部電極、下部電極として用いた。

【0063】

実施例1で用いたTMR膜において図1の記号を用いて説明すると、第2磁性層

は外部磁化に対して磁化回転が困難な固定磁性層、第1磁性層と界面平滑層は外部磁界に対して磁化回転が容易な自由磁性層であり、本実施例で作成した磁気ヘッドにおいて自由磁性層の磁化容易方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように（トラック幅方向）、固定磁性層12の磁化容易軸の方向が検知すべき信号磁界方向と平行になるように磁性膜に異方性を付与した。この異方性の付与方法は、TMR膜を作成後、まず、磁界中280℃で5kOeの磁界中で5時間熱処理して、固定磁性層の容易方向を規定した後、更に、200℃で1000eの磁界中で1時間熱処理して、自由層の容易軸を規定して行った。以上のようにして作成したシールド型磁気ヘッドの再生ギャップ204を $0.1\mu\text{m}$ 、TMR素子のトラック幅は $0.5\mu\text{m}$ 、MR高さも $0.5\mu\text{m}$ とした。実施例試料1-3および従来例試料Aとそれぞれ同じ膜構成を用いたシールド型磁気ヘッドをそれぞれ実施例試料4、従来例試料Dとする。

【0064】

作成した磁気ヘッドのS/N比（信号対雑音比）を比較したところ実施例試料4の方が従来例試料Dよりも8dBの出力が向上した。

【0065】

（実施例5）

図6に示したヨーク構造の磁気ヘッド（再生部）を作製した。下部ヨーク部302には高透磁率のNi-Fe合金膜を用い、上部ヨーク部303にはCuMoNiFe軟磁性膜を用いた。下部ヨーク部302のNi-Fe合金膜を形成後にCMP研磨した後、Al₂O₃膜からなる絶縁層部307、Ta/Cu/Taからなる下部電極部305を形成した後、下記の膜構成のTMR膜を実施例1と同様な手法で形成した。

【0066】

実施例試料5：Pt_{0.5}Mn_{0.5}(15nm)/Co_{0.75}Fe_{0.25}(3nm)/Ru(0.8nm)/Co_{0.75}Fe_{0.25}(1nm)/Fe_{0.6}Ni_{0.15}Pt_{0.25}(2nm)/Al-O(0.7nm)/Fe_{0.6}Ni_{0.15}Pt_{0.25}(1nm)/Ni_{0.8}Fe_{0.1}(2nm)

従来例試料E：Pt_{0.5}Mn_{0.5}(15nm)/Co_{0.75}Fe_{0.25}(3nm)/Ru(0.8nm)/Co_{0.75}Fe_{0.25}(3nm)/Al-O(0.7nm)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(1nm)/Ni_{0.8}Fe_{0.1}(2nm)

実施例試料5には反強磁性層（PtMn）の下地層としてNi-Fe-Cr(4nm)を用いた

。両試料ともAl-Oトンネル絶縁層はAl(0.7nm)を200Torrの純酸素中で10分間自然酸化することで形成した。TMR素子部のセル面積は $2\mu\text{m}\times 6\mu\text{m}$ とした。セルの長手方向が図11の紙面に対して垂直方向となるようにした。上部電極部305にはTa/Pt/Cuを用いた。TMR素子と上部ヨーク部302との電氣的な短絡を防ぐためにSiO₂絶縁層を形成した後、上部ヨーク部302を作成して図6に示すようなヨーク型磁気ヘッドを作成した。以上のように作成された実施例試料5と従来例試料Eの磁気ヘッドの自由磁性層の磁化容易方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように（図6において紙面に垂直方向）、固定磁性層の磁化容易軸の方向が検知すべき信号磁界方向と平行（図6に図示している2つのヨーク部303を結ぶ線に平行）になるように磁性膜に異方性を付与した。この方法は、TMR膜を成膜後、まず、磁界中280℃で5kOeの磁界中で熱処理して、固定磁性層の容易方向を規定した後、更に、200℃で5000eの磁界中で熱処理して、自由磁性層の容易軸を規定して行った。

【0067】

作製したヘッドの熱安定性を調べるために180℃の恒温槽に入れて200mVの電圧を印加した状態で50日間保持するという試験を実施した。この試験の前と後の出力の比較をした。その結果、本発明の実施例試料5を用いたヘッドでは出力の低下は1%以内であり非常に安定した出力特性を示したのに対して、従来例試料Eを用いたヘッドの出力低下は約38%と非常に大きな出力低下が見られた。従って本発明の磁気ヘッドは従来の磁気ヘッドと比較して熱的安定性に優れ、再生感度が非常に良いことが分かった。

【0068】

（実施例6）

実施例3で作製した実施例試料3-1、3-3を用いて図11に示したスイッチ素子703のない単一の磁気メモリ素子を作製した。それぞれの膜の作成方法は同じであるが、実施例試料3-1、3-3のトンネル絶縁層であるAl-Oの膜厚はそれぞれ1.2nm、1.4nmとし、PtMn反強磁性層の下地層としてNi-Fe-Cr(4nm)を用いている。

【0069】

実施例試料 3-1 : $\text{Pt}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}(15\text{nm})/\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.25}(4\text{nm})/\text{Fe}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}(2\text{nm})/\text{Al-O}(0.7\text{nm})/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(4\text{nm})$

実施例試料 3-3 : $\text{Pt}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}(20\text{nm})/\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.25}(3\text{nm})/\text{Ru}(0.8\text{nm})/\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.25}(1\text{nm})/\text{Fe}_{0.6}\text{Ni}_{0.15}\text{Pt}_{0.25}(2\text{nm})/\text{Al-O}(1.0\text{nm})/\text{Fe}_{0.6}\text{Ni}_{0.15}\text{Pt}_{0.25}(2\text{nm})/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})$

ワード線部 702 およびセンス線部 700 およびセンス線兼ワード線部 701 には Cu を用いた。実施例 3 で作成した実施例試料 1 および従来例試料 A の下部電極をセンス線部 700 とし、また、上部電極としてセンス線兼ワード線部 700 を用いている。センス線部 700 は基板上に作成された Cu よりなるワード線部 702 とはアルミナ膜で絶縁した後に形成されている。TMR 素子部のセル形状は $1\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ とし、TMR 素子部は 280°C で 5kOe の磁界をセルの長手方向に印加して 5 時間実施した。このように作成された素子をそれぞれ実施例試料 6-1、6-2 とする。このときの TMR 素子部の抵抗は両試料とも数 $\text{k}\Omega$ でほぼ同じであった。比較のために従来例として実施例 3 で作成した従来例試料 C と同じ作成方法で同じ膜構成の TMR 膜で、ワード線部 702 がセンス線兼ワード線部 701 上に形成された素子を作製した。これを従来例試料 F とする。

【0070】

ワード線部 702 とセンス線兼ワード線部 700 にパルス電流を流して磁界を発生させ自由磁性層の磁化反転を起こして情報「0」を記録した。次にワード線部 702 とセンス線兼ワード線部 700 に反対方向にパルス電流を流して自由磁性層の磁化を反転させて情報「1」を記録した。センス線部 700 とセンス線部兼ワード線部 702 との間に約 400mV のバイアス電圧を印加してセンス電流を流し、情報「0」と情報「1」の状態の素子出力を測定したところ実施例試料 6-1、6-2 では 100mV 以上の高出力の信号が得られた。同様に従来例試料 F を用いた磁気メモリ素子でも同様に情報「0」と「1」を読み出すことはできたが信号出力は 100mV 未満であった。

【0071】

次に上記実施例試料 6-1、6-2、従来例試料 F の TMR 素子を図 11 に示すようなスイッチ素子 703 を持つメモリ素子で、図 10 に示すようなマトリックス

上に状に配置した磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) の試作を行った。素子配列は、 16×16 素子のメモリを 1 ブロックとし合計 8 ブロックとした。まず FET をスイッチングトランジスタ (SW-Tr) として CMOS をマトリックス上に配置し、CMP で表面を平坦化した後、上記実施例試料 4 と従来例試料 D の TMR 素子を CMOS に対応してマトリックス様に設けた。それぞれのセル面積は $0.1 \mu\text{m} \times 0.25 \mu\text{m}$ とした。なお、ワード線及びビット線などは全て Cu を用いた。ここでまず TMR 膜構成を形成した段階で 280°C で 5kOe の磁界をセルの長手方向となる向きに印加して 10 時間、磁界中熱処理を行った。最後に 400°C で水素シンター処理を行った。各 (N、M) 番地の素子への情報の記録は (N、M) 番地の素子で交差するワード線とセンス線兼ワード線に電流を流して発生する合成磁界により、8 つのブロックの、8 素子に磁化回転が容易な自由磁性層の磁化反転を同時に行い 8 ビットずつの信号を記録した。次に CMOS で作製された FET のゲートをそれぞれのブロックに付き 1 素子ずつ ON し、センス電流を流した。このとき、各ブロック内でのセンス線、素子及び FET に発生する電圧と、ダミー電圧をコンパレータにより比較し、それぞれの素子の出力電圧から、同時に 8 ビットの情報を読みとった。その結果、実施例試料 6-1、6-2 を用いた MRAM では単一磁気メモリ素子の場合と同様に素子出力が得られたが、従来例試料 A を用いた MRAM はほとんど全く出力が得られなかった。これは本発明の TMR 素子は 400°C での水素シンター処理に耐えられるものの、従来素子は耐えられないことに起因していると考えられる。

【0072】

【発明の効果】

以上のように本発明のトンネル磁気抵抗効果素子は接合抵抗が小さくても高い TMR 比を示すことができる。さらに、TMR 比のバイアス電圧依存性を小さくし、大きなバイアス電圧が印加した状態でも高い出力を示すことができる。さらに、TMR 特性の熱的安定性の課題を改善することができる。また本発明のトンネル磁気抵抗効果素子を用いて、高出力で熱的安定性に優れた高記録密度に対応する磁気ヘッドを、また本発明の磁気ヘッドを用いて大容量な磁気記録装置を提供することができる。さらに、本発明の TMR 素子を用いて大容量磁気メモリーを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の一例を示す図

【図 2】

本発明の一実施例である TMR 素子の界面平滑層 1 4 を用いた効果について説明する模式図

【図 3】

本発明のトンネル磁気抵抗効果素子の一例を示す図

【図 4】

膜の上下に電極を配置した本発明の一実施例であるトンネル磁気抵抗効果素子の断面の模式図

【図 5】

本発明のシールドを有する磁気ヘッドの一例を示す図

【図 6】

本発明のヨークを有する磁気ヘッドの一例を示す図

【図 7】

本発明のヨークを有する磁気ヘッドの一例を示す図

【図 8】

本発明の磁気記録装置の一例を示す図

【図 9】

本発明の磁気記録装置の一例の回転ドラム装置の一形態の斜視図と走行系の概略図を示す図

【図 1 0】

本発明の磁気メモリ素子の一例を示す図

【図 1 1】

本発明の一実施例であるトンネル磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリ素子の書き込み動作と読み込み動作の一基本例の図

【図 1 2】

本発明の一実施例であるトンネル磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリ素子の

書き込み動作と読み込み動作の一基本例の図

【図 1 3】

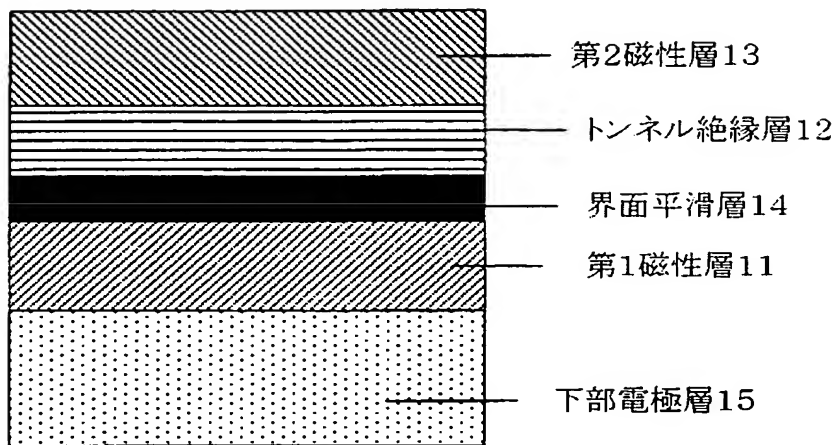
本発明の一実施例であるトンネル磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリ素子の
書き込み動作と読み込み動作の一基本例の図

【符号の説明】

- 1 1 第 1 磁性層
- 1 2 トンネル絶縁層
- 1 3 第 2 磁性層
- 1 4 界面平滑層
- 1 5 下部電極層
- 1 6 反強磁性層

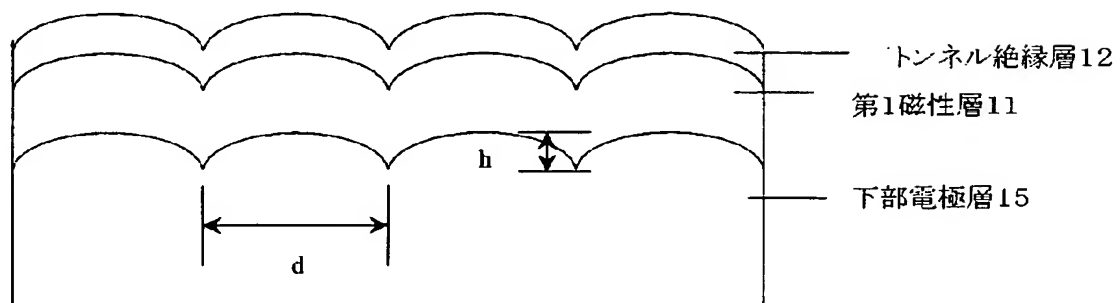
【書類名】 図面

【図 1】

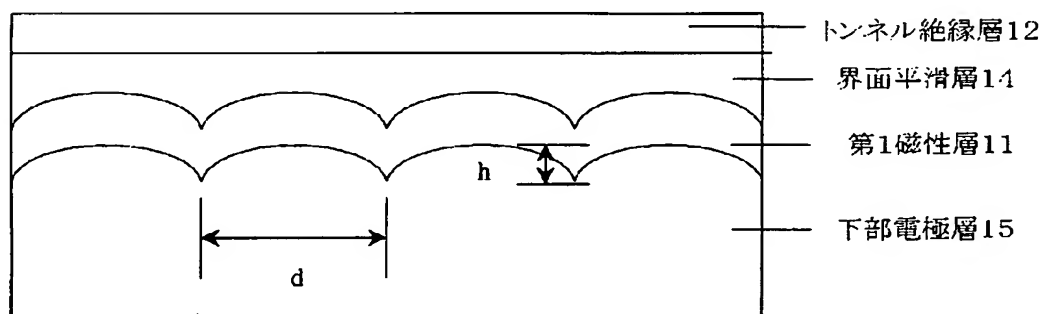


【図 2】

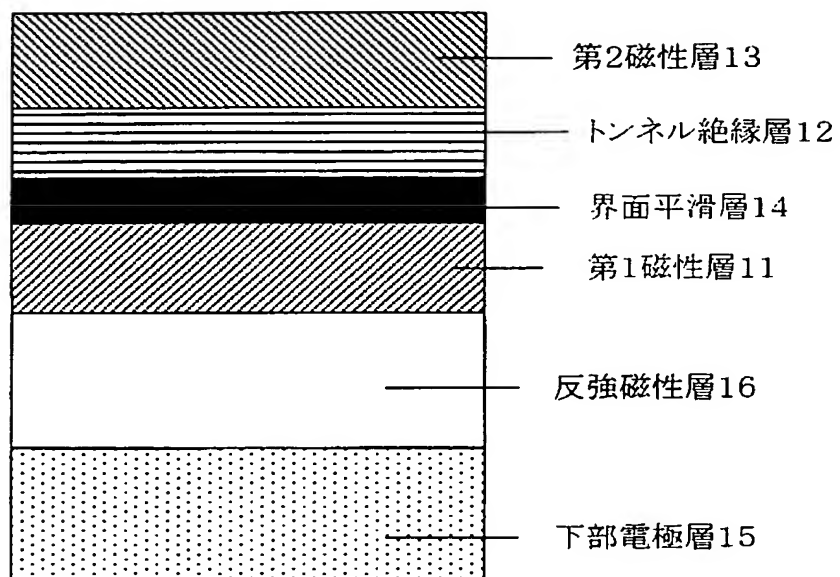
(a)



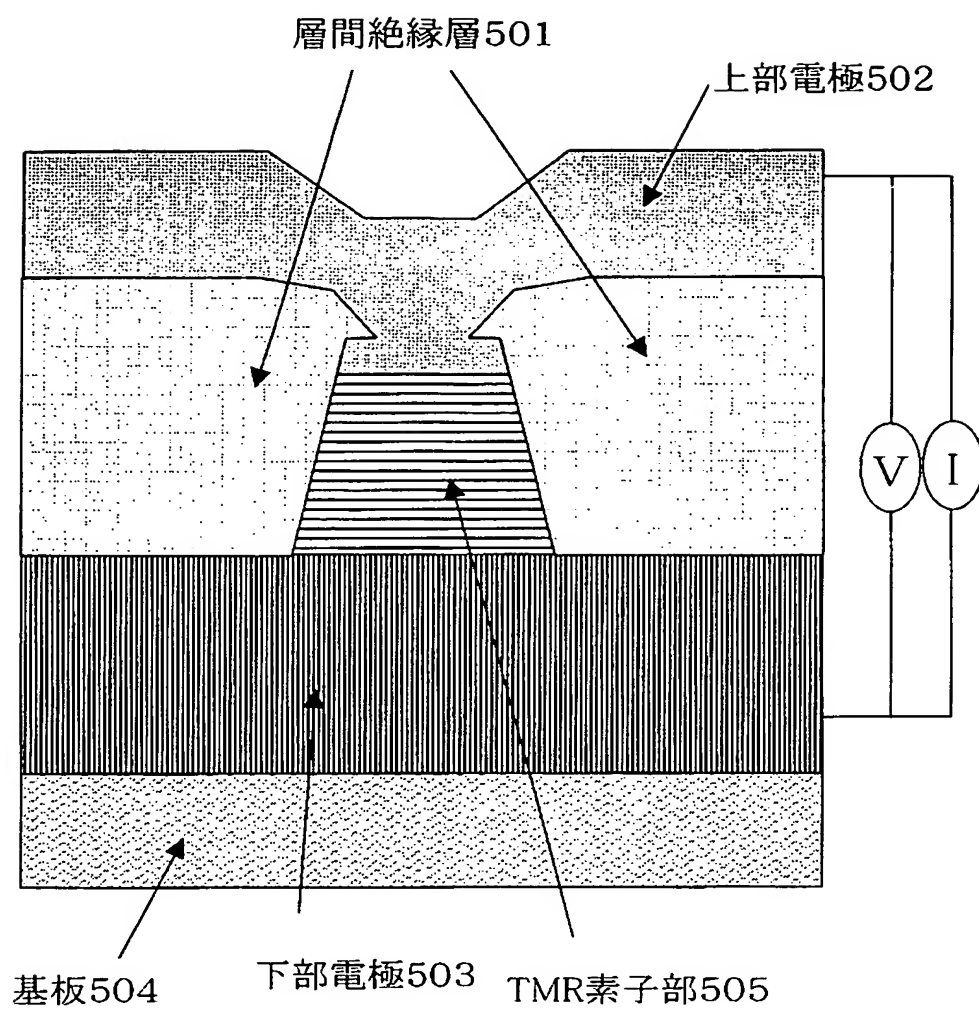
(b)



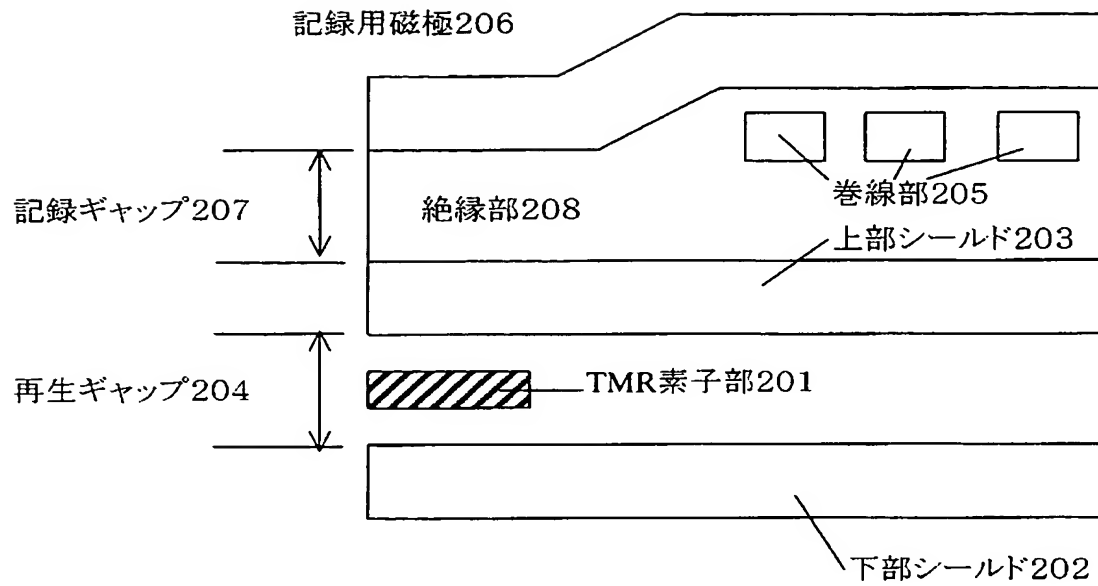
【図 3】



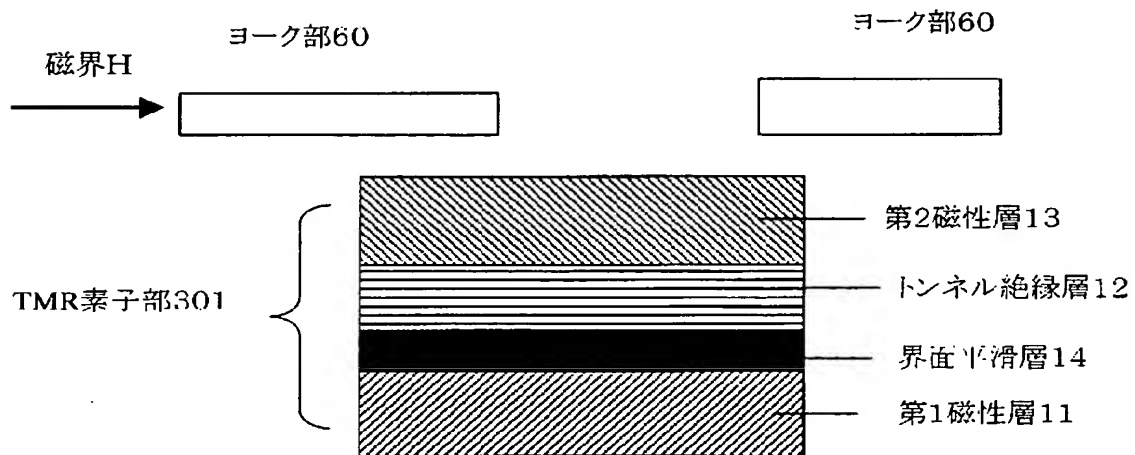
【図 4】



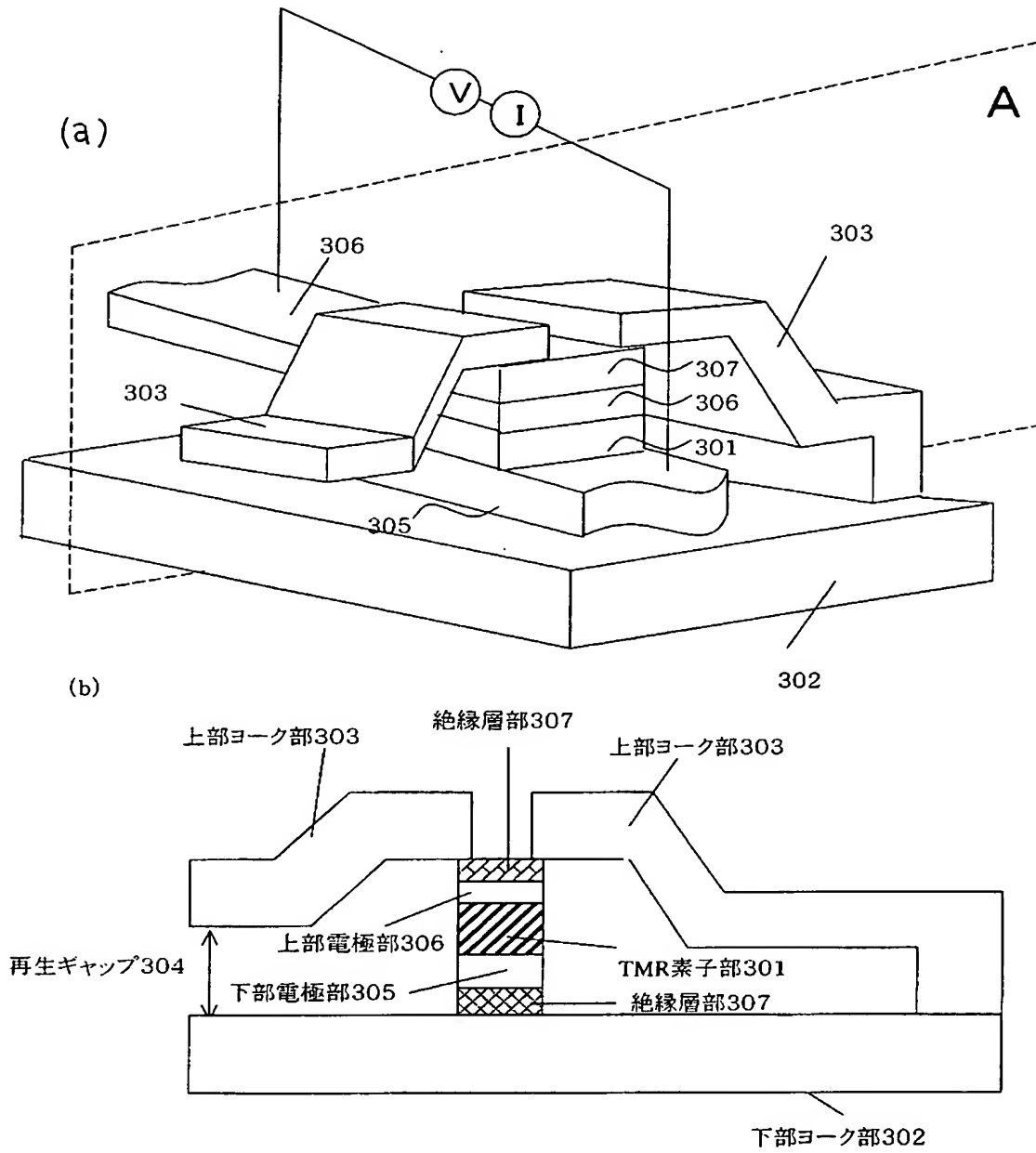
【図 5】



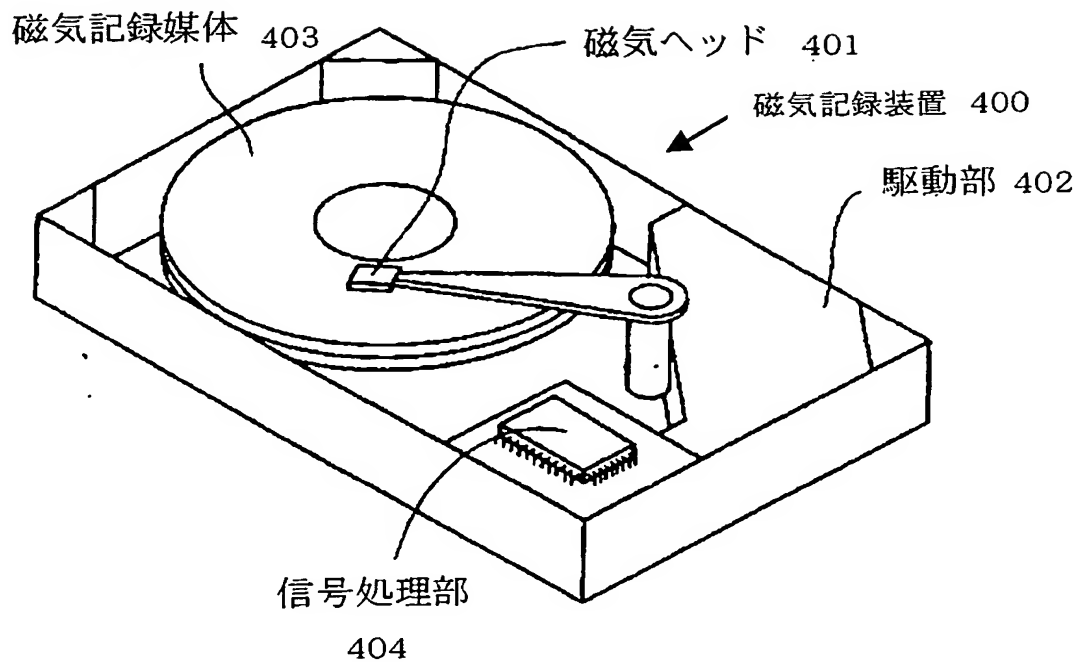
【図 6】



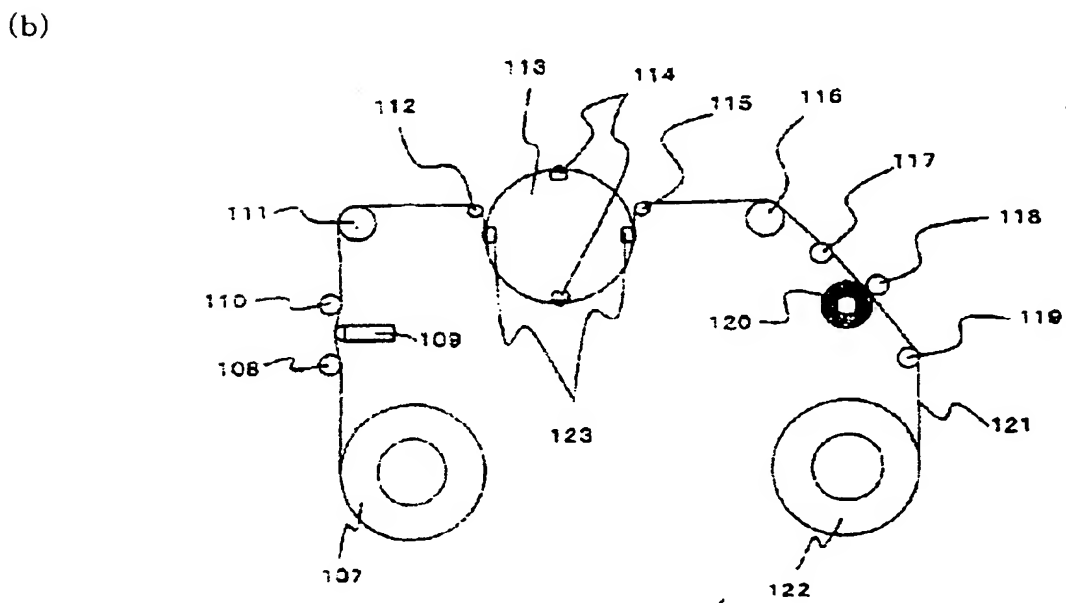
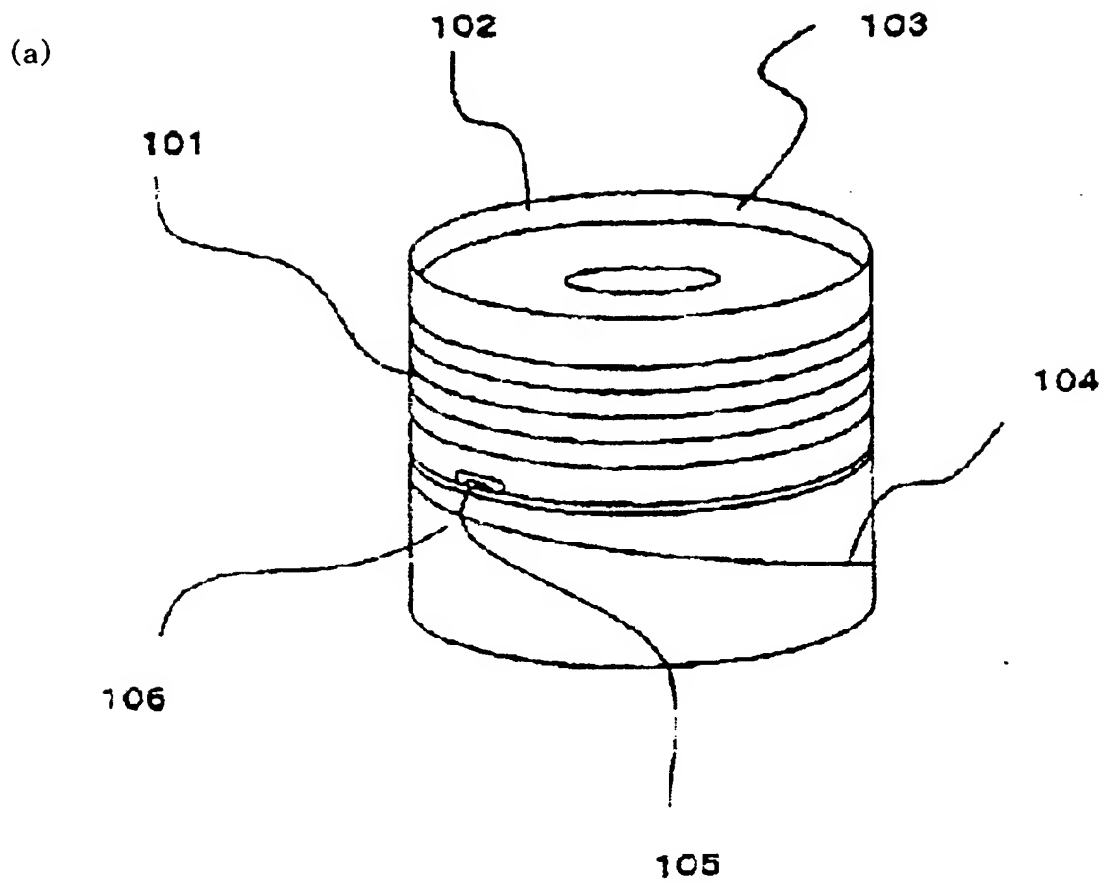
【図 7】



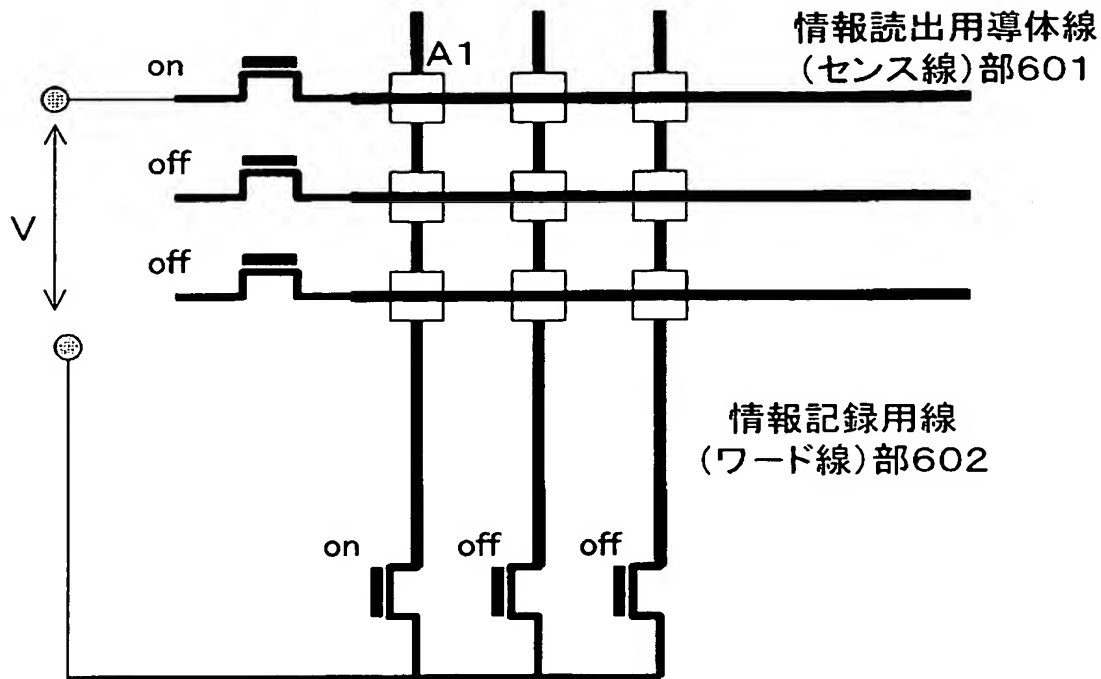
【図 8】



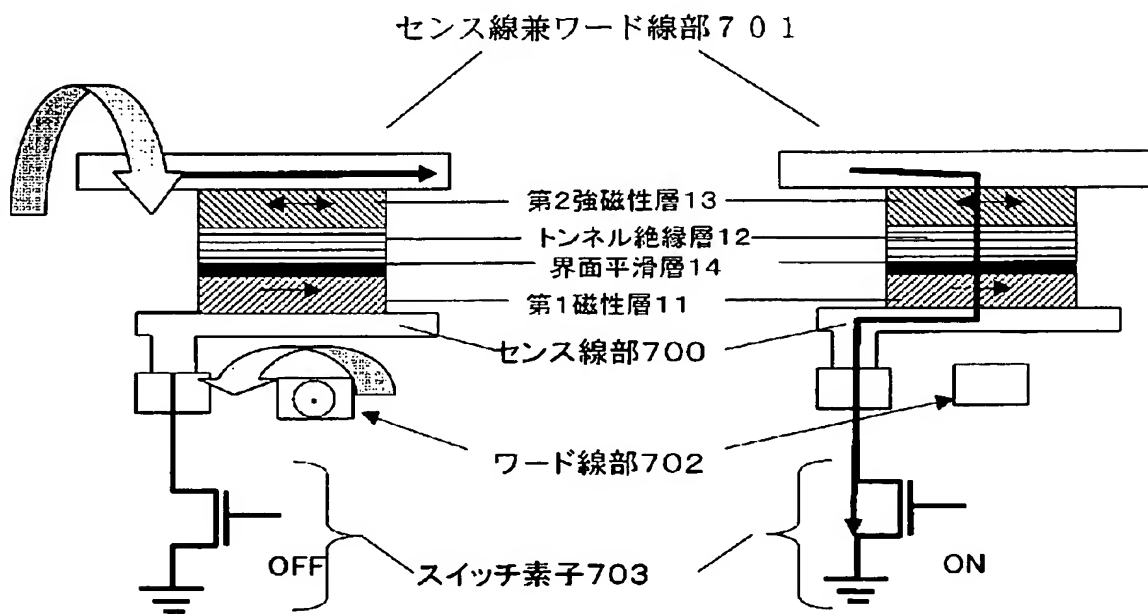
【図 9】



【図10】



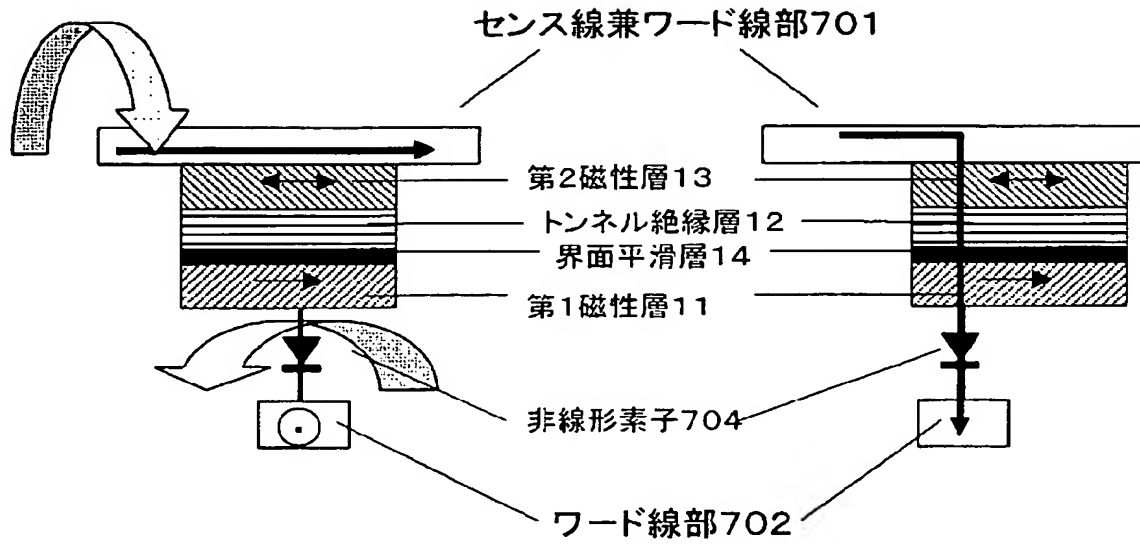
【図11】



(a) 情報記録動作

(b) 情報読出動作

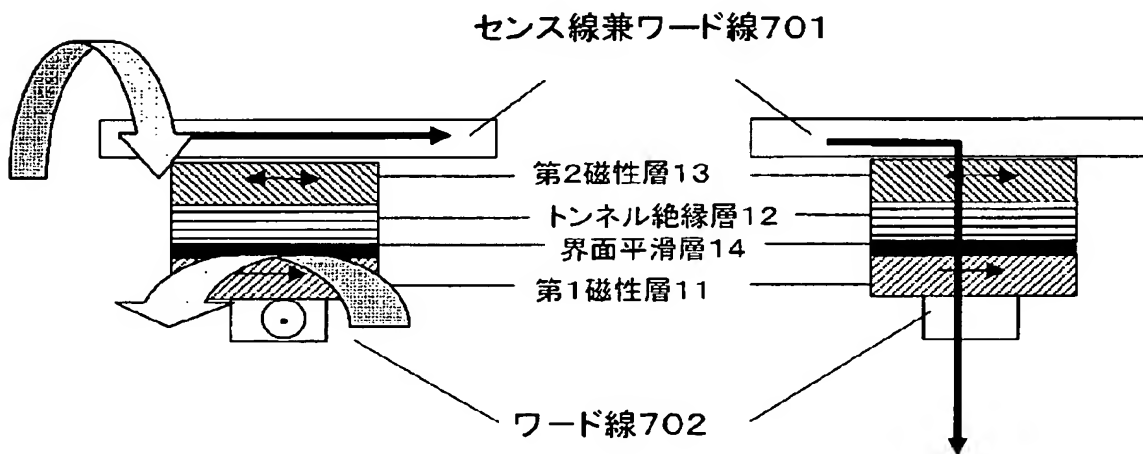
【図 12】



(a) 情報記録動作

(b) 情報読出動作

【図 13】



(a) 情報記録動作

(b) 情報読出動作

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低抵抗で高い磁気抵抗変化率を示すトンネル磁気抵抗効果素子および熱的安定性に優れたトンネル磁気抵抗効果素子を得る。

【解決手段】 基板上に第 1 磁性層 1 1 / トンネル絶縁層 1 2 / 第 2 磁性層 1 3 が積層しているトンネル磁気抵抗効果素子の第 1 磁性層 1 1 とトンネル絶縁層 1 2 との間に、面心立方晶構造もしくは面心正方晶構造で膜面内に (1 1 1) 面が配向している界面平滑層 1 4 を含むトンネル磁気抵抗効果素子、とする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 1 2 0 4 3 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社